



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ville Karjanlahti

# EMC-laboratoriotyö S-line 1000

Tekniikka ja liikenne

2011

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Ville Karjanlahti
Opinnäytetyön nimi	EMC-laboratoriotyö S-line 1000
Vuosi	2011
Kieli	Suomi
Sivumäärä	29 + 1 liite
Ohjaaja	Kalevi Ylinen

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella laboratoriotyö Vaasan ammattikorkeakoulun tietotekniikan osastolle. Laboratoriotyössä tutkitaan ja mitataan elektroniikkalaitteen tuottamaa sähkömagneettista säteilyä, pohditaan mistä säteily on peräisin ja miten sen syntyminen voidaan estää. Tutustutaan myös erilaisiin EMC-mittauksiin, joita elektroniikkalaitteille suoritetaan.

Opinnäytetyössä tutustutaan erilaisiin sähkömagneettisiin häiriöihin ja niiden kytkeytymismekanismeihin. Työssä käsitellään myös luonnossa esiintyviä häiriöitä ja niiltä suojautumista sekä tarkastellaan sähkömagneettisiin ilmiöihin liittyviä standardeja ja lakeja.

Mittaukset suoritetaan Rohde & Schwarz S-line 1000 -mittauskammiossa, jolla voidaan suorittaa pienten laitteiden EMC-mittauksia. Mittauskammiota on aikaisemmin käytetty Technobothnialla kaupallisissa mittauspalveluissa. Mittausten ohessa tehtiin päivitetty käyttöohje mittausjärjestelmälle, jota voidaan käyttää laboratoriotyössä.

## ABSTRACT

Author	Ville Karjanlahti
Title	EMC-laboratory Measurements for S-line 1000.
Year	2011
Language	Finnish
Pages	29 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Kalevi Ylinen

---

Purpose of this study was to design laboratory measurements to Vaasa University of Applied Sciences Information Technology Department. The purpose of the measurements is to study and measure electromagnetic radiation produced by electronic device. In addition, how the radiation generates and how it can be prevented is studied, as well as various EMC measurements of electronic devices.

This thesis introduces various electromagnetic interference and coupling methods. Moreover, naturally-occurring disorders and protection against them will be introduced. The electromagnetic phenomena associated with the standards and laws will be studied.

The measurements are performed in Rohde & Schwarz S-line 1000 cell, which can carry out EMC measurements for small-scale devices. The measuring cell has been used before at Technobothnia for commercial measurement services. Updated manual for the S-line measurement system was drawn up during the measurements.

---

Keywords	Electromagnetic radiation, EMC, interference measurement
----------	--

## SISÄLLYS

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
2	EMC.....	8
	2.1 Perusteet.....	8
	2.2 Luonnon häiriöt.....	9
	2.3 Ihmisen tuottama häiriö.....	10
	2.4 Maxwellin yhtälöt.....	11
	2.5 Häiriön kytkeytyminen.....	11
	2.5.1 Johtuminen.....	11
	2.5.2 Kapasitiivinen.....	12
	2.5.3 Induktiivinen.....	12
	2.5.4 Sähkömagneettinen säteily.....	13
	2.6 ESD.....	15
	2.7 Lait ja direktiivit.....	15
	2.8 Standardit.....	16
	2.9 Häiriöiden huomiointi suunnittelussa.....	17
	2.10 EMC-testaus.....	17
3	MITTAUSYMPÄRISTÖ.....	18
	3.1 Rohde & Schwarz S-line 1000.....	18
	3.2 Kammion sähköiset ominaisuudet.....	20
4	SUORITETUT MITTAUKSET.....	23
	4.1 Käytetyt laitteet.....	23
	4.2 Kytkenä.....	23
5	TULOKSET.....	24
6	YHTEENVETO.....	27
	LÄHTEET.....	29
	LIITE	

**KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO**

<b>Kuvio 1.</b>	Sähkömagneettinen säteily	s. 13
<b>Kuvio 2.</b>	Rohde & Schwarz S-line 1000 kammio	s. 19
<b>Kuvio 3.</b>	Rohde & Schwarz S-line 1000 kammion sähköinen kytkentä	s. 20
<b>Kuvio 4.</b>	Rohde & Schwarz S-line 1000 kammion seisova aaltoliike	s. 21
<b>Kuvio 5.</b>	Taustasäteily	s. 24
<b>Kuvio 6.</b>	Lenovo G550 säteily WLAN ja Bluetooth poiskytkettynä	s. 25
<b>Kuvio 7.</b>	Lenovo G550 säteily WLAN ja Bluetooth päällä	
<b>Taulukko 1.</b>	Maxwellin yhtälöt	s. 11
<b>Taulukko 2.</b>	Sähkömagneettisen säteilyn taajuudet	s. 14
<b>Taulukko 3.</b>	Standardointijärjestöt	s. 16

**LIITELUETTELO****LIITE 1. EMC-testausohje**

## 1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on suunnitella laboratoriotyö Vaasan ammattikorkeakoulun tietotekniikan osastolle. Työ on tarkoitettu tietoliiketekniikan laboratorioskurssilla tehtäväksi. Laboratoriotyössä suoritetaan standardin mukaisia sähkömagneettisen häiriön mittauksia, joissa tutkitaan mitattavan laitteen tuottamia sähkömagneettista säteilyä alle 1 GHz taajuuksilla.

Mittaukset suoritetaan Rohde & Schwarz S-line 1000 -kammiossa. Kammiota on käytetty Technobothnialla aktiivisesti mittausympäristönä vuoteen 2002 asti, jolloin nykyisin käytössä oleva EMC-laboratorio otettiin käyttöön. Kammio jäi ilman käyttöä, koska siinä käytetty mittavastaanotin siirrettiin uuteen laboratorioon. Vuonna 2008 EMC-laboratoriossa otettiin käyttöön uusi mittauslaitteisto, jolla pystytään mittaamaan 3 GHz taajuuksiin asti. Vanha mittavastaanotin vapautui ja sitä voidaan nyt käyttää kammion kanssa. Tällä kokoonpanolla voidaan tehdä standardin mukaisia mittauksia 1 GHz asti.

Työssä tehdyn käyttöohjeen avulla S-line -kammiossa voidaan myös tulevaisuudessa tehdä EMC-mittauksia erilaisissa projekteissa, joissa ei ole tarvetta tai mahdollisuutta käyttää EMC-laboratoriota. Etenkin sulautettujen järjestelmien suunnittelukursseilla voidaan mittausympäristöä käyttää hyväksi.

## 2 EMC

### 2.1 Perusteet

EMC (Electromagnetic compatibility) eli sähkömagneettinen yhteensopivuus tarkoittaa sähkölaitteiden tuottamaa sekä sietämää sähkömagneettista häiriötä. Tällaisia häiriöitä tuottavat joissain määrin kaikki sähkölaitteet, erityisesti ne joissa virta tai jännite muuttuvat nopeasti. Sähkömagneettinen häiriö voi olla sähkömagneettista aaltoliikettä eli säteilyä. Se voi olla myös sähkökentän tai magneettikentän aiheuttamaa. Laite on sähkömagneettisesti yhteensopiva silloin kun se toimii oikealla tavalla toimintaympäristössään tuottamatta liikaa häiriöitä muille laitteille.

Arkisia EMC-häiriöitä ovat kuvaputkitelevisioissa näkyvät häiriöt, joita voivat aiheuttaa esimerkiksi sähkökatkaisimet, kaiuttimet tai oikeastaan mikä tahansa sähkölaite. Myös matkapuhelinten aiheuttama ”tapparatappara” -ääni kotona tai auton stereoissa on yksi yleisimmistä EMC-häiriöistä, jonka voi helposti havaita.

Sähkömagneettisella säteilyllä on vaikutusta ihmisiin. Joillakin ihmisillä on todettu yliherkkyyttä sähkölle. Matkapuhelimen ja langattomien verkkojen yleistyttyä viime vuosina on niiden vaikutuksia esimerkiksi ihmisaivoihin aloitettu tutkimaan laajemmin. Kaikkia vaikutuksia ei vielä tiedetä, mutta niitä tutkitaan jatkuvasti. Häiriöt voivat olla monin eri tavoin jopa hengenvaarallisia. Lentokoneissa on paljon mittareita ja laitteita, jotka häiriintyvät helposti. Esimerkiksi matkapuhelinten vaikutuksesta kaikkiin järjestelmiin ei vieläkään olla täysin tietoisia. Siksi matkapuhelinten käyttö on kielletty lentokoneissa. Sairaalassa on paljon laitteita, jotka ovat elintärkeitä. Siksi on tärkeää, että ne toimivat varmasti. Tästä syystä matkapuhelinten käyttöä sairaaloissa on rajoitettu.

Ympäristössä oleva sähkömagneettinen häiriö koostuu luonnosta tulevasta sekä ihmisen tarkoituksella tai tahattomasti tuottamasta häiriöstä.



## 2.2 Luonnon häiriöt

Maapallo aiheuttaa joka puolella pinnallaan staattisen magneettikentän, jota käytetään hyväksi mm. suunnistamisessa. Kenttä on voimakkaimmillaan magneettisilla navoilla, jossa se kaareutuu kohtisuoraan maanpintaa vasten. Pienimmillään kenttä on päiväntasaajalla. Navoilla kentän voimakkuus on  $60 \mu\text{T}$  ja päiväntasaajalla  $25 \mu\text{T}$ . Suomessa geomagneettisen kentän voimakkuus on  $51,0 - 55,5 \mu\text{T}$ . /6, 363/

Maapallon magneettikenttään summautuu pieni, mutta nopeasti muuttava magneettinen häiriökenttä, joka on peräisin ilmakehästä  $100 - 25000 \text{ km}$  korkeudella kulkevista sähkövirroista. Ne ovat peräisin aurinkotuulista ja hyvin lyhytaaltoisesta ilmakehää ionisoivasta säteilystä. Maapallon magneettikenttään vaikuttavat myös magneettiset myrskyt, joiden aikana magneettikenttä voi muuttua jopa 10 prosenttia ( $5 \mu\text{T}$ ). Magneettisiin myrskyihin vaikuttavat osittain auringon aktiivisuus sekä aurinkopilkkujen määrä. /6, 364/

Ilmakehän ylimmän kerroksen, ionosfäärin ja maan pinnan välissä on staattinen sähkökenttä voimakkuudeltaan  $100 - 130 \text{ V/m}$ . Sähkökenttä suuntautuu kohtisuoraan maan pintaa vastaan. Sen aiheuttaa ilmakehässä oleva positiivisten varausten pilvi, joka ympäröi koko maapalloa. Varaus ei vähene, koska jatkuvasti käynnissä olevat ukkosmyrskyt pumppaavat positiivisia varauksia ilmakehään salamaniskuilla. /6, 364/

Salamat tuottavat voimakkaimmat sähkökentät luonnossa. Pilveen kehittyy varaus, joka voi olla jopa kymmeniä kilovoltteja per metri. Varaus kasvaa ja lopulta purkautuu salamana. Purkauskanavassa kulkee hyvin suuri virta, tyypillisesti  $30 \text{ kA}$  ja suurimmillaan yli  $100 \text{ kA}$ . Tämä virtapiikki aiheuttaa pulssimaisia laajakais- taisia sähkö- ja magneettikenttiä, joista lähtee sähkömagneettisia aaltoja  $50 - 100 \text{ MHz}$  asti.

Auringosta ja maasta säteilee laajakaistaista sähkömagneettista säteilyä, jonka intensiteetti ja spektri riippuvat lämpötilasta. Alkuräjähdyksestä peräisin olevaa mikroaaltosäteilyä tulee joka puolelta avaruutta. Ilmakehän uloimmat kerrokset vaimentavat useita sähkömagneettisen säteilyn taajuuksia. Ainoastaan  $10 \text{ MHz} -$

30 GHz taajuinen säteily pääsee vapaasti avaruudesta maan pinnalle. /6, 367/

Aurinko vaikuttaa satelliittien kommunikointiin 150 - 500 MHz taajuuksilla ja avaruudesta tuleva kosminen säteily aiheuttaa taustakohinaa 100 - 1000 MHz alueella. /3, 35/ /1, 3/

### 2.3 Ihmisen tuottama häiriö

Ihmisen tuottamat häiriöt voidaan jakaa kahteen osaan: tarkoituksella tuotettuun säteilyyn ja erilaisten laitteiden tuottamaan sähkömagneettiseen saasteeseen. GSM-, televisio-, radio- ja wlan-signaalit ovat tyypillistä ihmisen tarkoituksella tuottamaa sähkömagneettista säteilyä, joka saattaa häiritä toisia laitteita. Nykyään radiotaajuudet on tarkkaan määritelty erilaisiin käyttötarkoituksiin ja vapaita taajuuksia on vähän. Suomessa radiotaajuuksien käyttöä valvoo Viestintävirasto (Ficora, Finnish Communications Regulatory Authority) . /4/

Suuri osa ihmisen tuottamasta sähkömagneettisesta häiriöstä tulee erilaisten laitteiden tuottamana saasteena. Tyypillisiä saastuttajia ovat sähkömoottorit, kytkimet, releet sekä hitsauksessa syntyvä valokaari. Virrallisen sähköjohtimen ympärille muodostuu aina magneettikenttä.

Tyypillisesti kotitalouksissa esiintyy ihmisen aiheuttama pienitaajuinen (~50 Hz) magneettikenttä, jonka voimakkuus on noin 0,1  $\mu\text{T}$ . Kentän aiheuttavat erilaiset sähkölaitteet. Maan magneettikentässä on myös pienitaajuisia vaihteluja joiden voimakkuus on luokkaa  $10^{-6}$   $\mu\text{T}$ . Eli murto-osa ihmisen aiheuttamasta kentästä. /6, 364/

Sähköverkosta tulee laitteisiin vaikuttavia häiriöitä paljon. Jännite voi vaihdella jopa +/-10% sekä kytkennöistä seuraa nopeita transientteja eli syöksypurkauksia. /3, 36/

Ihmisen tuottaman sähkömagneettinen häiriön määrä on kasvanut viimeiset sata vuotta. Erityisesti sähkömagneettinen säteily on lisääntynyt viidenkymmenen vuoden ajan valtavasti.

## 2.4 Maxwellin yhtälöt

Maxwellin yhtälöillä voidaan ratkaista kaikki sähkömagneettisten kenttäteorioiden ongelmat. Niitä voidaan käyttää apuna sähkömagneettisten häiriöiden syntymistä ja siirtymistä tarkastellessa. /6, 51/

**Taulukko 1.** Maxwellin yhtälöt.

Selite	Yhtälön derivaattamuoto	Kuvaus	
Gaussin laki	$\text{div}(\mathbf{D}) = \rho$	Sähkövaraus tuottaa sähkökentän	(1)
Gaussin laki magneettikentille	$\text{div}(\mathbf{B}) = 0$	Magneettisia monopoleja ei ole olemassa	(2)
Faradayn laki	$\text{rot}(\mathbf{E}) = -\frac{d\mathbf{B}}{dt}$	Muuttuva magneettikenttä tuottaa sähkökentän	(3)
Amperen laki ja Maxwellin lisäys	$\text{rot}(\mathbf{H}) = \mathbf{J} + \frac{d\mathbf{D}}{dt}$	Sähkövirta ja muuttuva sähkökenttä tuottavat magneettikentän.	(4)

## 2.5 Häiriön kytkeytyminen

Sähkömagneettisen häiriön neljä perinteistä kytkeytymistapaa ovat johtuminen, kapasitiivinen, induktiivinen ja säteily. Säteily voi myös siirtyä ilmasta johtimessa kulkevaksi aaltoliikkeeksi. /3, 36/

### 2.5.1 Johtuminen

Yleensä johtumalla kytkeytyvä häiriö on peräisin heikosta maadoituksesta. Maadoituksella pyritään yleensä siihen, että laitteen kuori tai jokin muu osa on samassa potentiaalissa maan kanssa. Hyvä maadoitus on erityisen tärkeää, jos laitteessa tapahtuu nopeita jännitteen muutoksia. /3, 38/

Sähköverkosta tulevat häiriöt vaikuttavat laitteisiin johtumalla. Johtumalla tulevia häiriötä voidaan ehkäistä erilaisilla suodattimilla, joista yksinkertaisin on kela. Niitä on usein sähkölaitteiden virta- ja signaali-johtimissa. Tällainen suodatin poistaa johtimesta korkeataajuuksisia häiriöitä.

### 2.5.2 Kapasitiivinen

Kapasitiivinen kytkentä tapahtuu kahden eri potentiaalissa olevan pisteen välille. Tällaisten pisteiden välillä on aina sähkökenttä ja niiden välille muodostuu kondensaattoria vastaava ilmiö. Eli esimerkiksi piirilevyllä vierekkäin kulkevat eripotentiaaliset signaalit muodostavat välilleen ilmiön, joka muistuttaa kondensaattoria. Tällaiseen kytkentään voidaan vaikuttaa komponenttien sijoittelulla ja johtimien vedoilla. Joissakin tapauksissa kapasitiivinen kytkentä voi olla jopa suunniteltu ja laitteen toiminnan kannalta tärkeä. Kapasitiivisen kytkeytymisen voimakkuuteen vaikuttavat eristeaineet sekä signaalien voimakkuus ja taajuus. /3, 39/

### 2.5.3 Induktiivinen

Induktiivinen kytkentä tarkoittaa virrallista silmukkaa, joita löytyy käytännössä kaikista sähkölaitteista, virran muutoksen aiheuttamaa magneettikentän vaikutusta. Magneettikentät vaikuttavat toisiinsa sähkömotorisia voimia kuten muuntajassa. Induktiivista kytkeytymistä tapahtuu järjestelmien sisällä sekä erillisten järjestelmien välillä. /3, 40/

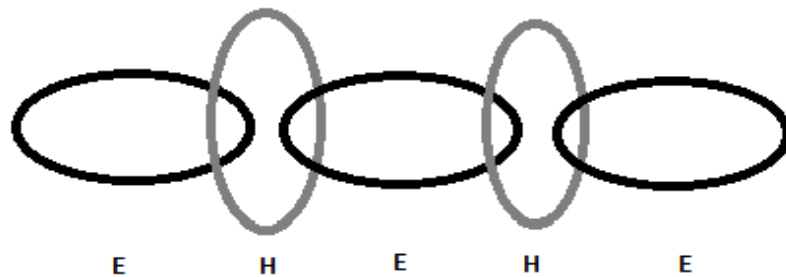
Michael Faraday määrittä 1800-luvulla voimakkuuden sähkömagneettisen induction sähkömotorisille voimille magneettivuon muutoksen mukaan:

$$E = - \frac{d}{dt} \Phi \quad (5)$$

Sähkökentän voimakkuuteen vaikuttavat magneettivuo sekä magneettikentän muutosnopeus. Mitä voimakkaampi magneettivuo ja nopeampi magneettikenttä sitä suurempi sähkökenttä. Syntynyt sähkökenttä aiheuttaa mahdollisesti epätoivotun sähkövirran. /6, 38/

Induktiivista kytkeytymistä voidaan estää suojaamalla järjestelmä tai sen osia. Teräksen on todettu toimivan hyvin suojakuorena, koska se sisältää ferromagneettisia aineita mm. rautaa. Yleinen johtimissa esiintyvän induktiivisen häiriön minimointikeino on rinnakkaisten johtimien kiertäminen toistensa ympäri. Tällöin johtimien muodostaman silmukan pinta-ala on erittäin pieni ja lävistävä magneettivuo mitätön.

### 2.5.4 Sähkömagneettinen säteily



**Kuvio 1.** Sähkömagneettinen säteily.

Sähkömagneettisella säteilyllä tarkoitetaan sähkömagneettisia aaltoja, jotka ovat sähkömagneettisen kentän aaltoliikettä. Paikallaan olevat varaukset synnyttävät sähkökentän ja kiihtyvässä liikkeessä olevat varaukset sähkömagneettisia aaltoja. Värähtelevä sähkökenttä  $E$  synnyttää värähtelevän magneettikentän  $H$  jne. jolloin syntyy kuvion 1 mukainen ilmiö – sähkömagneettinen aaltoliike.

Kaikki sähkövaraukset vaikuttavat toisiinsa, mutta kaukana toisistaan olevien varausten vaikutus on mitätön.

Sähkömagneettinen säteily voi olla ionisoivaa tai ionisoimatonta. Ionisoimattoman säteilyn aallonpituus on yli 100 nm. Ionisoivaa säteilyä ovat mm. röntgen- ja gammasäteily. Ionisoimatonta ovat ultraviolettisäteily, näkyvä valo, infrapunasäteily ja radioaallot. /4, 16

Sähkömagneettisessa aaltoliikkeessä sähkökentän ja magneettikentän välinen suhde on vakio, jota kutsutaan aaltoimpedanssiksi.

$$Z_0 = \frac{E}{H} \quad (6)$$

Vapaassa tilassa aaltoimpedanssi saa arvon 376,7 ohmia.

Sähkömagneettisten kenttien ja aaltojen voimakkuus ilmoitetaan tehotiheytenä  $S$ , jonka yksikkö on watti neliömetrille. Sinimuotoinen tasoaallon tehotiheys kaukokentässä voidaan esittää kaavalla

$$S=EH \quad (7)$$

jossa E ja H ovat sähkö- ja magneettikenttien tehollisarvot. Sijoittamalla  $Z_0$  voidaan esittää joko magneetti- tai sähkökentän tehotiheys. /6, 47/

$$S_E = \frac{E^2}{Z_0} \quad (8)$$

$$S_H = H^2 Z_0 \quad (9)$$

Sähkömagneettinen säteily etenee vapaassa tilassa aina valonnopeudella, joka on ilmassa n. 300 000 km/s. Aallonpituus ja taajuus voidaan määrittää seuraavalla yhtälöllä.

$$c = \lambda f \quad (10)$$

Sähkömagneettinen säteily jaetaan taajuuden mukaan seuraavan taulukon mukaan eri taajuusalueisiin.

**Taulukko 2.** Sähkömagneettisen säteilyn taajuudet.

Taajuusalue	Taajuus	Aallonpituus
ELF (extremely low frequency)	3 - 30 Hz	100 000 - 10 000 km
SLF (super low frequency)	30 - 300 Hz	10 000 - 1 000 km
ULF (ultra low frequency)	300 - 3000 Hz	1 000 - 100 km
VLF (very low frequency)	3 - 30 kHz	100 - 10 km
LF (low frequency)	30 - 300 kHz	10 - 1 km
MF (medium frequency)	300 - 3000 kHz	1 km - 100 m
HF (high frequency)	3 - 30 MHz	100 - 10 m
VHF (very high frequency)	30 - 300 MHz	10 - 1 m
UHF (ultra high frequency)	300 - 3000 MHz	1 m - 10 cm
SHF (super high frequency)	3 - 30 GHz	10 - 1 cm
EHF (extremely high frequency)	30 - 300 GHz	1cm - 1mm

100 kHz - 300 GHz taajuuksia kutsutaan yleisesti radiotaajuuksiksi (Radio Frequency, RF). Tässä työssä tehdään mittauksia 30 MHz - 1 GHz taajuuksilla.

## 2.6 ESD

ESD (Electrostatic Discharge) eli staattisen sähkön purkautuminen. Siitä käytetään usein nimitystä kipinäpurkaus, koska se esiintyy yleensä kipinäinä. Se tarkoittaa nopeaa ja lyhyttä sähkövirtaa kohteiden välillä, joilla on eri sähköinen potentiaali. Potentiaaliero johtuu tyypillisesti kahden materiaalin kosketuksesta. Siitä syystä sitä kutsutaan usein hankaussähköksi. Vaikka ESD-purkaus ei sisällä paljoa energiaa se saattaa olla erittäin haitallinen sähkölaitteille, erityisesti puolijohteille. Hetkellinen jännite saattaa olla useita kymmeniä kilovoltteja ja virta useita kymmeniä ampeereja riippuen materiaaleista. ESD aiheuttaa myös hetkellisen voimakkaan sähkömagneettisen pulssin.

Yleisimmin kipinäpurkaukset syntyvät ihmisten aiheuttamina. Ihmiseen kertyy hankaussähköä melkein kaikesta kosketuksesta. Sähkövarauksen jännite ja virta riippuvat koskettavista materiaaleista. Ihminen voi kantaa varausta pitkiäkin aikoja ja vapauttaa sen koskettaessaan sähkölaitteen kuorta. Näiltä purkauksilta suojautumiseen käytetään laboratorioissa maadoittavia jalka- ja käsiremmejä, joilla estetään varauksen syntyminen. /12, 65/

## 2.7 Lait ja direktiivit

Kodinkoneilla ja teollisuuden laitteilla on erilaiset EMC-vaatimukset. Esimerkiksi teollisuuden laitteiden täytyy sietää suurempia häiriöitä, koska tehtaissa on paljon häiriöitä. Se myös tarkoittaa, että ne saavat tuottaa enemmän häiriöitä. Rajat näille häiriöille on määritelty kansallisesti, EU-tasolla sekä maailmanlaajuisesti.

Ensimmäinen Euroopan unionin EMC-direktiivi 89/336/EEC julkaistiin vuoden 1992 alussa. Se tuli voimaan täysimääräisesti vuonna 1996 pidennetyn neljän vuoden siirtymäajan jälkeen. 31. joulukuuta 2004 julkaistiin seuraava EMC-direktiivi 2004/108/EC, joka tuli voimaan 20. tammikuuta 2005. 89/336/EEC kumottiin 20. kesäkuuta 2007. 2004/108/EC koskee kaikkia laitteita, jotka tuottavat tai ovat alttiita sähkömagneettiselle häiriölle. /2/

Suomessa sähkömagneettisia häiriöitä käsitellään sähköturvallisuuslaissa (410/1996) sekä laissa radiotaajuuksista ja telelaitteista (1015/2001). /8/ /7/

## 2.8 Standardit

Standardeilla pyritään laatimaan yhteisiä toimintatapoja ja helpottamaan viranomaisten, elinkeinoelämän sekä kuluttajan elämää. Tuotteille määritetyillä standardeilla pyritään lisäämään yhteensopivuutta ja turvallisuutta. Sähkölaitteita koskevat standardit perustuvat niitä koskeviin viranomaisten antamiin säädöksiin.

Kuten lakeja ja direktiivejä, myös standardeja löytyy sähkömagneettisia häiriöitä koskien kansallisella, EU ja maailmanlaajuisella tasolla. /9/

**Taulukko 3.** Standardointijärjestöt.

	Sähkötekniikka	Teleala	Muu
Maailma	IEC, CISPR	ITU	ISO
Eurooppa	CENELEC	ETSI	CEN
Suomi	SESKO	Viestintävirasto	SFS

Standardien numerointi noudattelee seuraavaa periaatetta: CENELEC:n kehittämät standardit kuuluvat EN 50000 -sarjaan. Useita IEC- ja CISPR -standardeja on otettu eurooppalaisiksi standardeiksi sellaisenaan tai vähäisin muutoksin, näistä IEC-standardit kuuluvat EN 60000 -sarjaan ja CISPR-standardit EN 55000-sarjaan.

Tässä työssä suoritettut mittaukset ovat EN 55022 -standardin mukaiset. Standardi käsittelee tietotekniikkalaitteiden radiotaajuisen häiriön tuottoa. Standardin mukaan mittaukset suoritetaan avoimessa tilassa 30 - 1000 MHz taajuuksilla 10 m (suositeltava) tai 3 m etäisyydellä mitattavasta kohteesta vapaassa tilassa.

Standardi määrittelee myös johtuvan häiriön mittaukset 150 kHz - 30 MHz taajuuksilla. Johtuva häiriö mitataan tietoliikenneportista. /2, 77/



## 2.9 Häiriöiden huomiointi suunnittelussa

On tärkeää, että sähkömagneettinen yhteensopivuus otetaan huomioon elektronisen laitteen suunnittelussa alusta asti, koska tuotekehityksen loppuvaiheessa suurten muutosten tekeminen laitteeseen voi olla erittäin kallista ja jopa mahdotonta. Siksi laitteille tehdään EMC-testejä heti ensimmäisestä prototyypistä lähtien.

Yhteensopivuutta voidaan parantaa yksinkertaisilla asioilla. Ei käytetä nopeampia logiikkapiirejä, korkeampia jännitteitä tai ohjausvirtoja kuin tarpeen. Lyhyiden johtimien käyttö sekä kunnollinen maadoitus, suojaus ja suodatus on myös tärkeää. /2/

Piirilevysuunnittelussa on erityisen tärkeää huomioida komponenttien sijoittelu sekä johdinten pituuden vaikutus häiriöiden kytkeytymiseen.

## 2.10 EMC-testaus

Sähkömagneettisten häiriöiden testaus voidaan jakaa kahteen pääkohtaan: laitteen tuottamaan ja sietämään häiriöön.

EMI (Electromagnetic interference) eli sähkömagneettinen häirintä tarkoittaa laitteen tuottamaan sähkömagneettista häiriötä. Laitteista mitataan niiden tuottamaa säteilevää sekä niistä johtuvaa häiriötä. Johtuvaa häiriötä voidaan mitata signaali-johtimista tai käyttöjännitteestä.

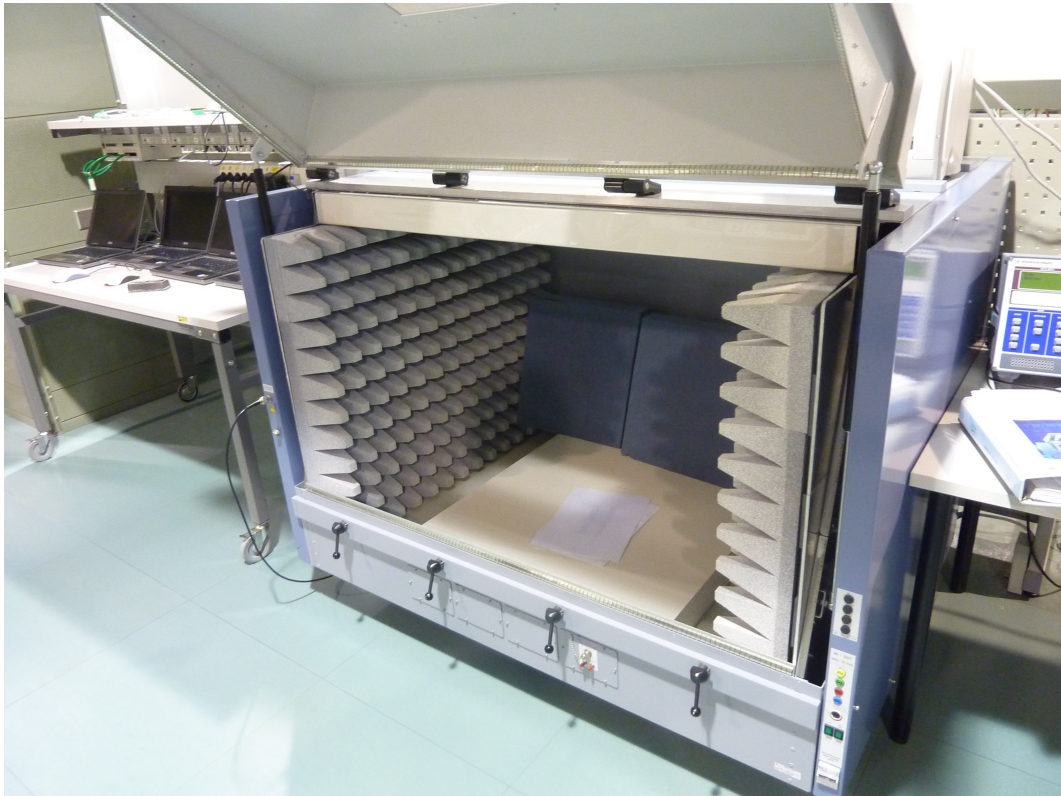
EMS (Electromagnetic susceptibility) tarkoittaa elektromagneettista sietoa eli sillä mitataan kuinka paljon elektromagneettista häiriötä laite sietää. Häiriön sietoa testataan erilaisilla johtuvilla ja säteilevillä häiriöillä.

### **3 MITTAUSYMPÄRISTÖ**

Tässä työssä käytetty standardi EN 55022 määrittelee, että säteilevän häiriön mitaus suoritetaan vapaassa tilassa 10 m etäisyydellä mitattavasta kohteesta. Koska vapaa tila ilman taustahäiriöitä on mahdoton löytää, suoritetaan mittaukset yleensä isossa eristetyssä huoneessa. Huoneen seinät on vuorattu sisältä mahdollisimman paljon säteilyä absorboivaksi, jolloin se on mahdollisimman paljon vapaan tilan kaltainen mittausympäristö. Seinät myös eristävät mahdollisimman paljon ympäristön häiriöiden pääsyn mittausympäristöön. Tässä työssä käyttämämme mittauskammiolla simuloidaan vapaata tilaa. Vaikka ympäristö ei ole standardin mukainen, on se erittäin hyvä väline esitestaukseen tuotekehityksessä.

#### **3.1 Rohde & Schwarz S-line 1000**

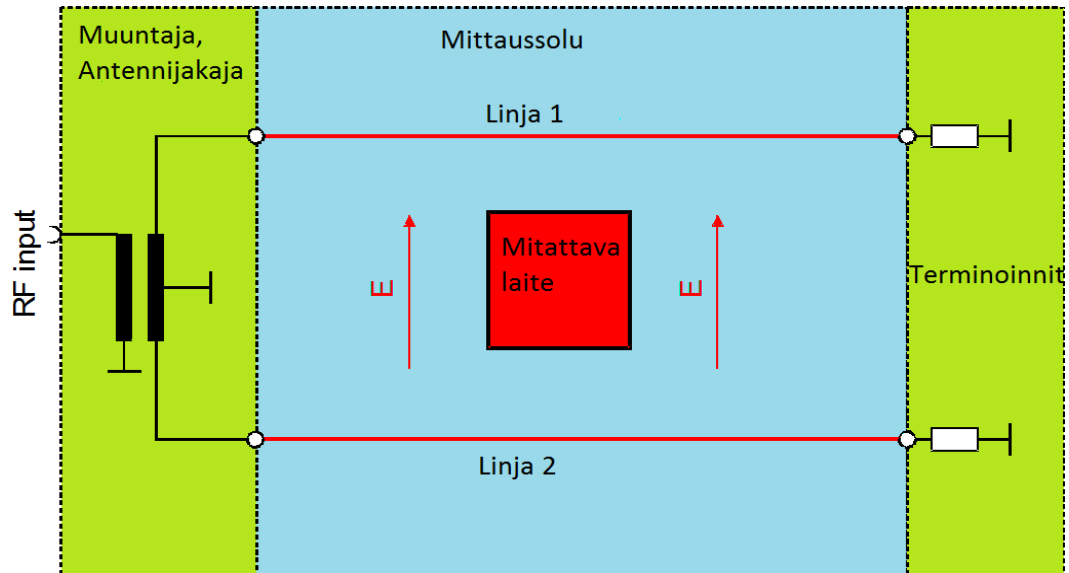
Seuraavassa kuvassa näkyy kammion seinämillä olevat eristeet. Vasemmassa reunassa näkyy liitántä antennille ja oikeassa reunassa on kammion sisälle kytketyt värikoodatut liitännät ulkoiselle virtalähteelle.



**Kuvio 2.** Rohde & Schwarz S-line 1000 kammio.

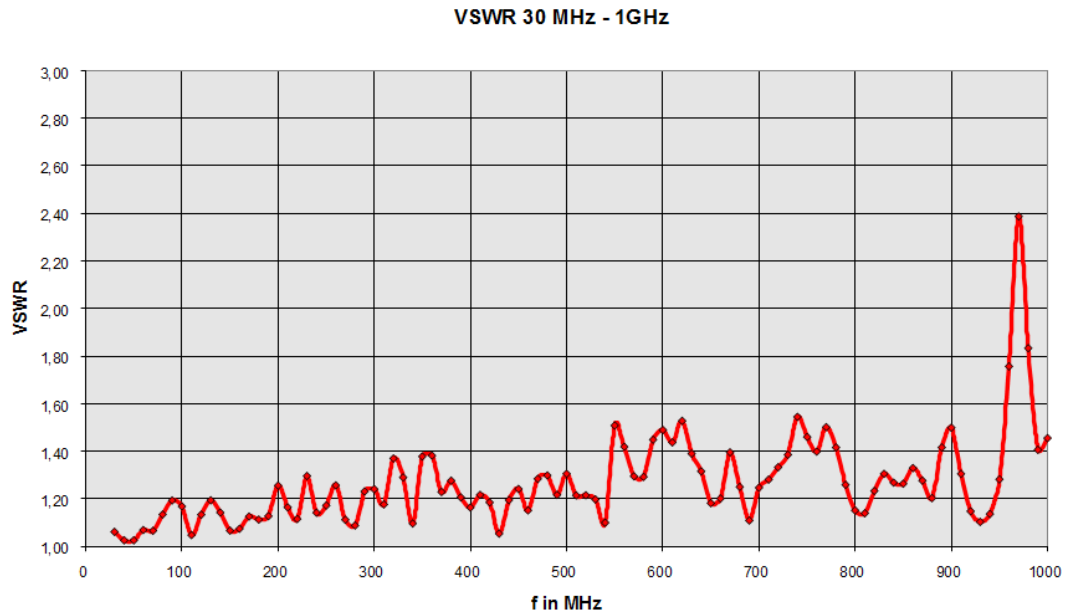
Rohde & Schwarz S-line 1000 kammiolla suoritetaan standardin mukaisia emissiomittauksia laitteistolle. Kammiota voi käyttää myös häiriönsietotesteihin, mutta siihen tarvittavaa vahvistinta ei ole Technobothnialla käytettävissä. Testausalueen mitat ovat 50 cm x 50 cm ja kammion ulkomitat 1 m x 1 m x 1,5 m. Mittauksissa käytettävä taajuusalue voi olla 150 kHz - 2 GHz. Seuraavassa kuvassa kammion sähköinen kytkentä.

### 3.2 Kammion sähköiset ominaisuudet



**Kuvio 3.** Rohde & Schwarz S-line 1000 kammion sähköinen kytkentä.

Kammion ylä- ja alaosassa on antennit, joita voidaan käyttää emissiomittauksissa sekä häiriönsietomittauksissa. Mittavastanottimella mitataan antennin linjojen välinen potentiaaliero.



**Kuvio 4.** Rohde & Schwarz S-line 1000 kammion seisova aaltoliike.

Kuviossa 4 kammion seisova aaltoliike (VSWR). Se on ilmiö, jossa heijastuvat aallot vahvistavat toisiaan eli interferoivat. Seisovan aallon vaikutus ilmoitetaan suhdelukuna

$$\frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \text{VSWR} \quad (11)$$

Kuvasta näkyy, että kammiossa eniten seisova aaltoliike vaikuttaa 950 MHz - 980 MHz taajuusalueilla. Aallonpituus niillä taajuuksilla on n. 30 cm.

Laitteella voidaan suorittaa pienessä tilassa mittauksia, jotka normaalisti vaativat ison eristetyn tilan. Se on kustannustehokas tapa suorittaa esitestejä uusille laitteille. Mittauksissa käytetty sovellus laskee saatujen tulosten perusteella oikeat arvot häiriölle seuraavien kaavojen mukaisesti

$$P_0 = C_1 \left( 2 \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 [S] \quad (12)$$

$$S = U_x^2 + U_y^2 + U_z^2 \quad (13)$$

ja

$$E_{max} = C_2 \sqrt{\frac{3Z_0}{4\pi}} P_0 \quad (14)$$

jossa

$P_0$  mitattu säteilyn teho

$C_1$  S-line korjauskerroin

$U_{x,y,z}$  mitattu jännite kolmesta eri suunnasta

Korjauksessa oletetaan, että mitattava laite on pienempi kuin aallonpituus ja se käyttäytyy kuten dipoli. Eli säteily lähtee tiettyyn suuntaan mitattavasta laitteesta.

## 4 SUORITETUT MITTAUKSET

### 4.1 Käytetyt laitteet

- Mittavastaanotin R&S ESPC
- Mittauskammio R&S S-LINE 1000
- EMC -tietokone, jossa ES-K1 V1.60 -mittaussovellus, GPIB-kortti sekä kirjoitinporttiin asennettu Hardlock ES-K1 -liitin
- IEEE-488 (GPIB)-kaapeli
- Mitattava laite, Levono G500 kannettava tietokone.

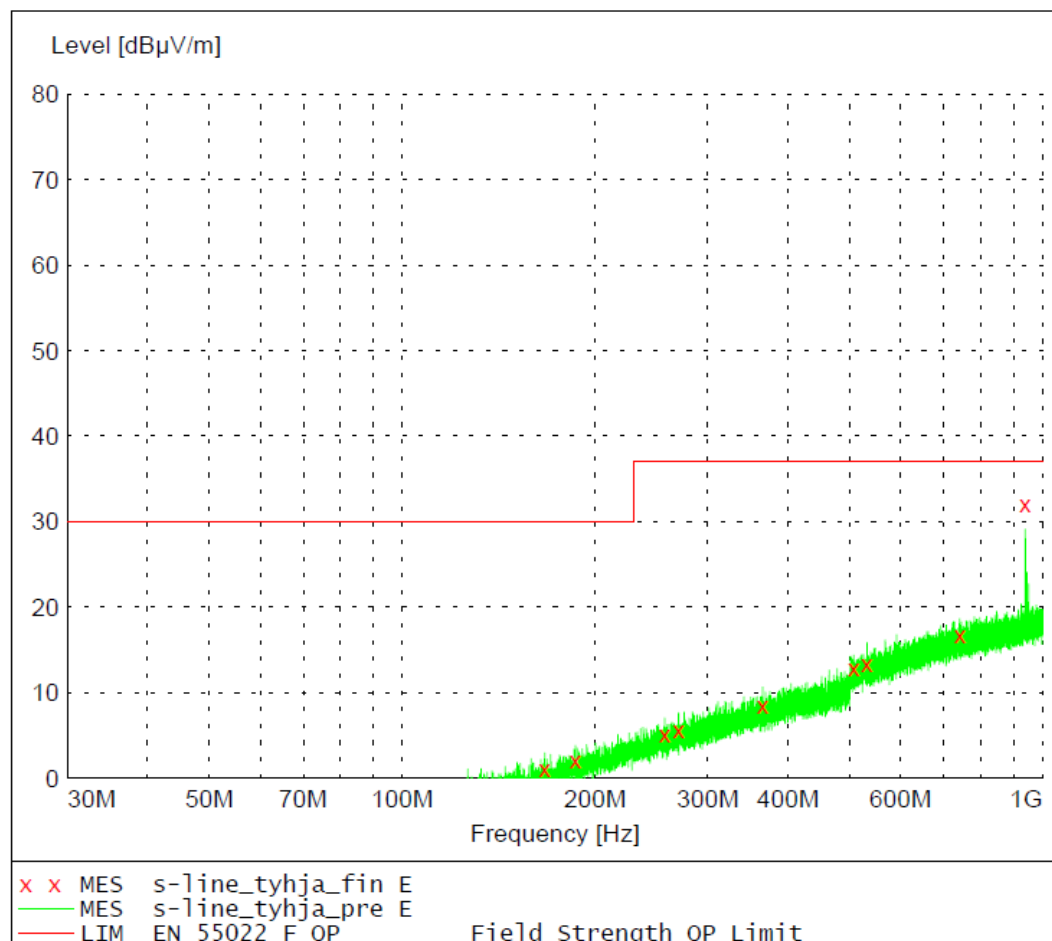
### 4.2 Kytcentä

Kytetään koaksiaalikaapeli kammion RF-liittimeen (RF CONNECTOR) ja mittavastaanottimen sisäänmenon (RF INPUT) välille. IEEE-488 (GPIB)-kaapeli kytetään mittavastaanottimen ja tietokoneen GPIB-kortin välille. Kytetään tulostin tietokoneeseen sekä tarvittaessa asennetaan USB-muistitikku. Kytetään käyttöjännitteet laitteisiin.

## 5 TULOKSET

Aluksi suoritettiin liitteenä olevan ohjeen mukaisesti EN 55022 -standardia mukailevat testit tyhjällä kammiolla taustasäteilyn määrän selvittämiseksi. Sen jälkeen suoritettiin samat testit mittaushaasteena Lenovo G550 -kannettava tietokone. Ensimmäisessä mittauksessa kannettavasta sammutettiin Bluetooth sekä WLAN. Toisessa mittauksessa ne olivat päällä.

Kuviossa näkyy standardin määrittämät rajat häiriön määrälle punaisina viivoina.



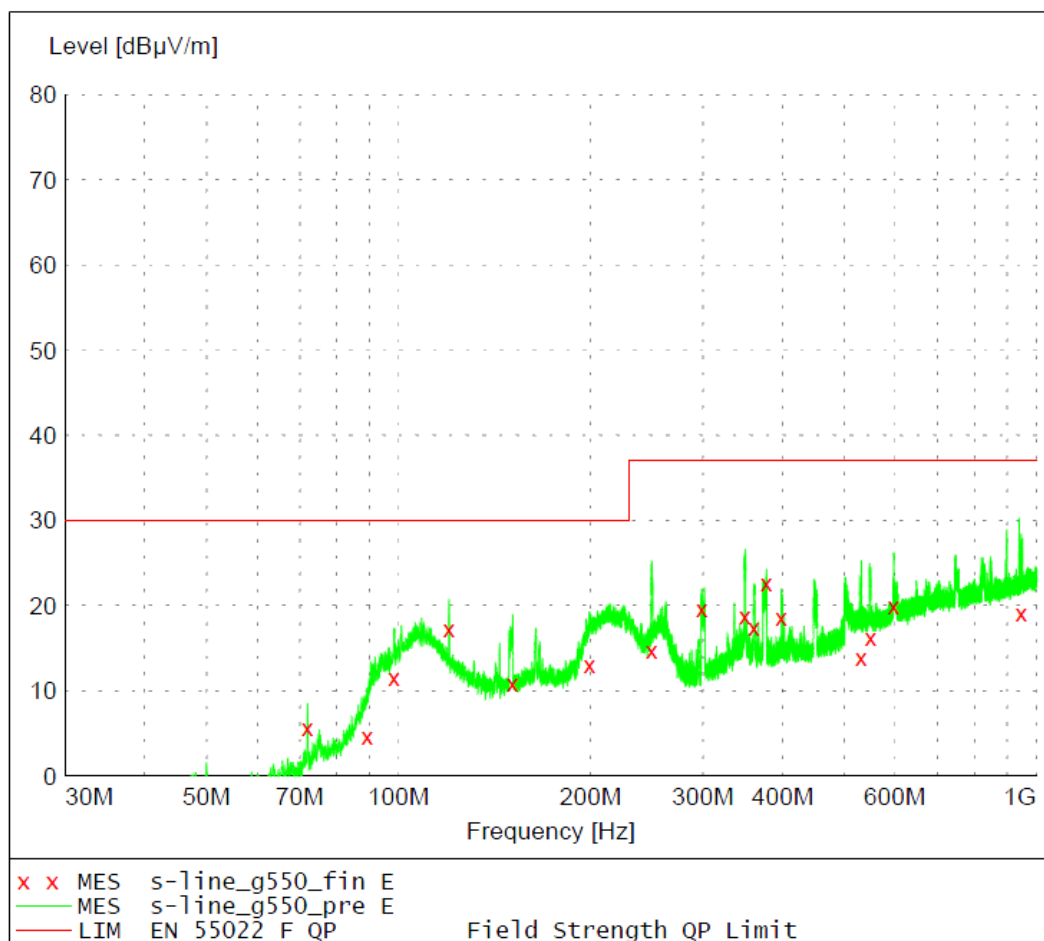
**Kuvio 5.** Taustasäteily.

Yllä olevasta kuvioista nähdään, että mittausjärjestelmän taustahäiriöt ovat olemattomat alle 150 MHz taajuuksilla. Taajuuksilla 150 MHz - 500 MHz häiriötä on alle 10 dBμV/m ja 500 MHz - 1000 MHz pääsääntöisesti alle 20 dBμV/m. Ku-



viossa näkyvän piikin taajuus on 938,82 MHz. Tällä taajuudella toimii GSM 900 kavava 19. /11/

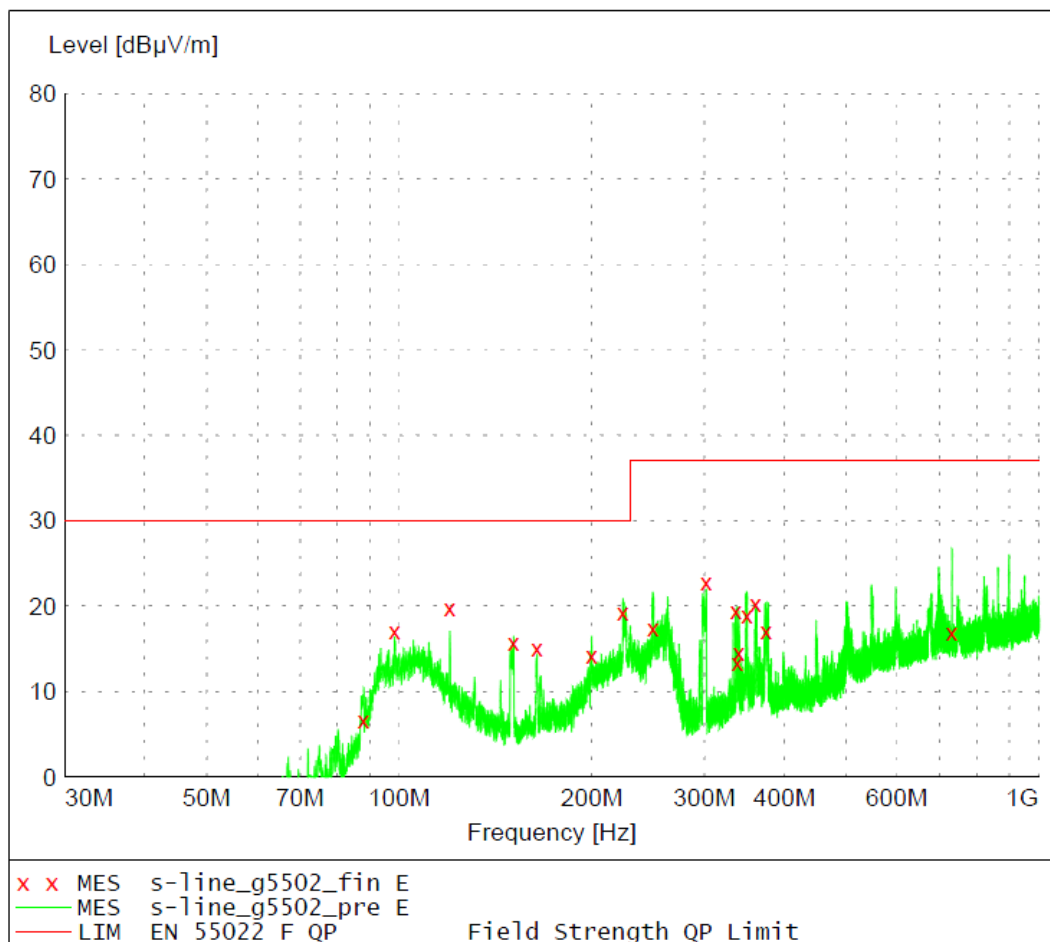
Taustasäteilyn voimakkuuteen vaikuttaa myös seisovan aaltoliikkeen vahvistus, joka kasvaa taajuuden mukana.



**Kuvio 6.** Lenovo G550, säteily WLAN ja Bluetooth poiskytkettynä.

Edellä olevasta kuviossa näkyy, että mitattava kohde tuottaa häiriöitä enimmäkseen 100 MHz - 300 MHz taajuuksilla.

Seuraavassa kuvassa näkyy häiriöt, kun WLAN ja Bluetooth ovat päällä.



**Kuvio 7.** Lenovo G550, säteily WLAN ja Bluetooth päällä.

Edellisessä kuvassa näkyy, etteivät WLAN ja Bluetooth vaikuta erityistä häiriötä alle 1 GHz taajuuksilla verrattuna kuvioon 6. Niiden käyttämien kantoaaltojen taajuudet ovat yli 2,4 GHz eli niiden ei pitäisikään näkyä mittauksissa.

## 6 YHTEENVETO

Rohde & Schwarz S-line 1000 -mittausympäristö on erittäin käyttökelpoinen laboratorioympäristössä, jossa ei ole mahdollista rakentaa eristettyä mittaustilaa. Se on helppokäyttöinen ja sen avulla on helppo tutustua sähkömagneettisten häiriöiden mittausten perusteisiin. Korkeammilla taajuuksilla mittaukseen summautuu havaittava häiriö, mutta siitä huolimatta testeillä saadaan mielestäni riittävä kuva mitattavan laitteen tuottamasta häiriöstä. Koska kyse on esitestauksesta, eivät pienet epätarkkuudet ole haitaksi.

Laboratoriotyön suunnittelussa ongelmaksi muodostui mitattava laite. Se olisi hyvä olla sellainen, jolla saataisiin luotua hallitusti haluttu häiriö, joka sitten voitaisiin todeta mittauksessa. Sellaisen laitteen suunnittelu olisikin jo sitten oma työnsä. 900 MHz matkapuhelin toimii mitattavalla taajuusalueella, mutta se ei säteile jatkuvasti ja kaistanleveys on pieni, joten sen havaitseminen voi olla vaikeaa.

Toisaalta sellainen laite, jonka työtä suorittava oppilas olisi itse suunnitellut ja valmistanut, olisi myös hyvä mittauskohde. Siinä voisi mahdollisen häiriön tuottajan paikallistaa ja jopa korjata. Myös kaksi toiminnaltaan identtistä laitetta, jotka on suunniteltu eri tavalla, voisivat olla mielenkiintoinen mittauskohde. Jos kahdesta samalla tavalla toimivasta laitteesta toinen tuottaa enemmän häiriötä kuin toinen, on häiriön lähde luultavasti helppo paikantaa vertailemalla suunnittelua, esimerkiksi komponenttien sijoittelua ja muita häiriöiden syntyyn vaikuttavia seikkoja. Tässä työssä ei ollut käytettävissä tällaisia mittauskohteita. Mittauksissa käytetty kannettava tietokone on jo varustettu CE-merkinnällä eli sen jo läpäissyt vastaavat testit.

Aluksi oli myös tarkoitus verrata S-line -kammiolla saatuja mittaustuloksia Technobothnialla EMC-laboratoriossa suoritettuihin mittauksiin, jolloin saataisiin hyvä kuva mittauksien tarkkuudesta ja taustahäiriöiden vaikutuksesta. Nämä

mittaukset jäivät aikataulun takia tekemättä.

## LÄHTEET

- /1/ Morgan, David (1994). A handbook for EMC testing and measurement. Iso-Britannia: Short Run Press Ltd.
- /2/ Williams, Tim (2007). EMC for Product Designers. 4th ed. Iso-Britannia: MPG Books Ltd.
- /3/ Sähkötieto ry (1997). EMC ja rakennusten sähkötekniikka. Tampere: Tammer-Paino Oy.
- /4/ Viestintävirasto. Taajuusjakotaulukko. [viitattu 15.1.2011] Saatavilla Internetissä: <URL: [http://www.ficora.fi/attachments/suomi\\_R\\_Y/5t1j5j4Qf/Files/CurrentFile/TJT\\_suomi.pdf](http://www.ficora.fi/attachments/suomi_R_Y/5t1j5j4Qf/Files/CurrentFile/TJT_suomi.pdf) >.
- /5/ Stimac, Tomislav. Definition of frequency bands (VLF, ELF... etc.). [viitattu 15.1.2011] Saatavilla Internetissä: <URL: <http://www.vlf.it/frequency/bands.html> >.
- /6/ Jokela, Nyberg (2006). Sähkömagneettiset kentät. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- /7/ Finlex (1996). Sähköturvallisuuslaki. [viitattu 15.1.2011] Saatavilla Internetissä: <URL: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19960410> >.
- /8/ Finlex (2001). Laki radiotaajuuksista ja telelaitteista. [viitattu 15.1.2011] Saatavilla Internetissä: <URL: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2001/20011015> >.
- /9/ Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Standardisoinnin maailmankartta. [viitattu 15.1.2011] Saatavilla Internetissä: <URL: <http://www.sfs.fi/standardisointi/maailmankartta/> >.
- /10/ Viestintävirasto. Taajuusalueiden käyttö suomessa. [viitattu 15.1.2011] Saatavilla Internetissä: <URL: <http://www.ficora.fi/attachments/suomimq/5l20LCx58/M4TJT.pdf> >.
- /11/ Telcra. Channel Allocation GSM900. [viitattu 15.1.2011] Saatavilla Internetissä: <URL: [http://www.telcra.com/index.htm/pdfs/ingles/gsm900\\_channel\\_allocation.pdf](http://www.telcra.com/index.htm/pdfs/ingles/gsm900_channel_allocation.pdf) >.
- /12/ Benda, Sten (1991). Interference-free Electronics Electromagnetic Compability. 3rd ed. Ruotsi: Studentlitteratur, Lund.

## EMC-testausohje

Säteilevän häiriön mittaus R&S S-LINE 1000-kammiolla

Mittausstandardi EN 55022

Laitteet:

- Mittavastaanotin R&S ESPC
- Mittauskammio R&S S-LINE 1000
- EMC -tietokone, jossa ES-K1 V1.60 -mittaussovellus, GPIB-kortti sekä kirjoitinporttiin asennettu Hardlock ES-K1 -liitin
- Tulostin, (USB-muistitikku, jota voi käyttää tulosten tallentamisessa)

Kytkeä:

Mittauskammio

- Kytetään koaksiaalikaapeli kammion RF-liittimeen (RF CONNECTOR) ja mittavastaanottimen sisäänmenon (RF INPUT) välille
- Kytetään käyttö sähkö pistorasiaan

Mittavastaanotin

- Kytetään käyttö sähkö pistorasiaan
- IEEE-488 (GPIB)-kaapeli kytketään mittavastaanottimen ja tietokoneen GPIB-kortin välille
- Kytetään tulostin tietokoneeseen sekä tarvittaessa asennetaan USB-muistitikku

Mittaus:

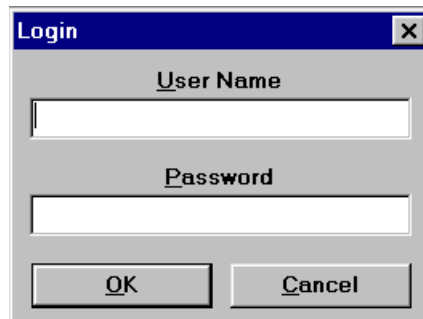
Kytetään jännitteet laitteisiin

Mittauksessa käytettävä ohjelma käynnistetään työpöydältä löytyvästä kuvakkeesta ES-K1 V1.60 Emissio

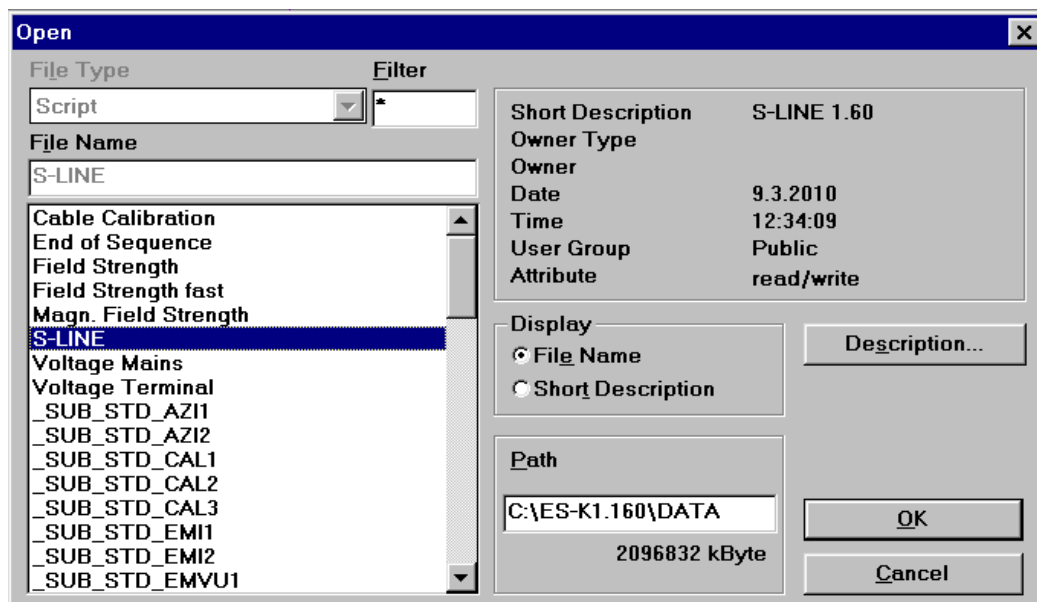


User Name: a

Password: 1



- Avataan Test-valikosta Run Script...



- Valitaan S-LINE ja painetaan OK
- Aukeaa Script Parameter -ikkuna

Script Parameter ['S-LINE': 'EN 55022 S']

Parameter Set: EN 55022 S

Test

01: ID (max. 12 chars) to be included in filenames: s-line\_0004

02: global start frequency [MHz] for the test: 30

03: global stop frequency [MHz] for the test: 1000

04: suppress queries as far as possible: ☐

05: split frequency range into test ranges: ☒

06: if splitting of frequency range: do with log. scale: ☒

07: min. no. of test ranges for splitting of frequ. range: 1

08: test configuration, <none>: ID: <none>

Additional Topics

Buttons: Preview..., DataReduction..., Final..., Graphic..., Report..., ReportHeader..., SLINE...

Buttons on the right: OK, Save, Save As..., Print, Stop, Cancel

Parameter Set: EN 55022 S

01: Mittaukset tunnus, johon laitetaan esim. asiakkaan tunnus ja päivämäärä

(AMK\_19042010)

02: Mittauksen aloitustaajuus, normaalisti 30 MHz

03: Mittauksen lopetustaajuus, normaalisti 1000 MHz

04: Ei valittu

05: Valittu

06: Valittu

07: 1

08: None

Ikkunan alaosassa olevien nappien takaa aukeavat asetukset tulisi olla seuraavanlaiset

Preview

– Final

Preview

01: S-LINE X preview result, <none>: ID + '\_pre X': <none>

02: S-LINE Y preview result, <none>: ID + '\_pre Y': <none>

03: S-LINE Z preview result, <none>: ID + '\_pre Z': <none>

04: OATS E preview result, <none>: ID + '\_pre E': <none>

05: scan table for preview: EN 55022 S-LINE

06: sweep table for preview: <none>

07: insert results into existing result file: ☐

Buttons on the right: OK, Cancel



Final

01: S-LINE X final result, <none>: ID + '\_fin X' <none>

02: S-LINE Y final result, <none>: ID + '\_fin Y' <none>

03: S-LINE Z final result, <none>: ID + '\_fin Z' <none>

04: OATS E final result, <none>: ID + '\_fin E' <none>

05: perform partial scans ☐

06: scan table for partial scans EN 55022 S-LINE

07: scan table for single meas. EN 55022 S-LINE QP

08: insert results into existing result file ☐

09: optional: input frequency list <none>

OK Cancel

## Report

Report

01: generate printer hardcopy ☐

02: report config. for printing, <none>: ID + '\_prnt' <none>

03: footnote, empty field: ID

OK Cancel

01: jos halutaan tulostaa raportti valitaan tämä

## DataReduction

DataReduction

01: limit line (field strength) EN 55022 F QP

02: max. no. of results kept per test range 16

03: decision threshold [dB] for peak reduction 10

04: max. no. of results kept from partial scans 2

05: partial scan width: no. of IF-BWs (0=use ratio) 0

06: partial scan width: ref. frequ. ratio 0.01

OK Cancel

01: valitaan käytettävä kentänvoimakkuuden raja-arvo, EN 55022 F QP on teollisuusympäristöön ja EN 55022B F QP kotitalous/toimistoympäristöön

## ReportHeader

ReportHeader

01: resulting test report header, <none>: ID

02: optional test report header template

03: 1st header line

04: 2nd header line

05: E.u.T. name

06: manufacturer

07: operating conditions

08: test site

09: operator

10: test specification

11: comment line

12: 2nd comment line (empty field: start time)

OK

Cancel

Tähän annetaan tietoja, joita halutaan raportissa näkyvän

## SLINE

SLINE

01: S-LINE type is 700

02: S-LINE type is 1000

03: S-LINE type is 1500

04: S-LINE correction factor (C1)

05: OATS correction factor (C2)

OK

Cancel

Asetetaan mitattava laite kammioon. Kammion sisällä takaseinässä on sähköpistoke, josta saa käyttösähkön mitattavalle laitteelle. Kammion ulkopuolella on kytkin tälle ja käynnistetään mittaus valitsemalla Script Parameter-ruudusta OK

Perform preview test? eli halutaanko suorittaa esiskannaus. Vastataan Yes

- Perform final test? eli suoritetaanko lopullinen mittaus, joka tehdään esiskannauksessa löydettyjen huippujen kohdalta QP-ilmaisimella. Vastataan Yes
- Setup E.u.T. Now eli pyydetään asettamaan mitattava laite. Tarkastetaan

että laite on asetettu ja valitaan OK.

- set EuT axis to 'X'. Mittaukset suoritetaan kolmessa eri asennossa, koska antennia ei voida kääntää. Ohjelma ilmoittaa kun laitetta pitää kääntää. Kammion päällä ohje laitteen asettamiseen. Valitaan OK.
- Mittauksen voi keskeyttää valitsemalla Stop Immediately tämän jälkeen Valitsemalla Stop skripti keskeytyy. Uuden mittauksen voi aloittaa valitsemalla Start. Muista vaihtaa uusi ID uuteen mittaukseen.
- set EuT axis to 'Y'. Käännetään mitattava laite asentoon Y ja valitaan OK.
- set EuT axis to 'Z'. Käännetään mitattava laite asentoon Z ja valitaan OK.
- Continue with final test? Valitaan Yes.
- set EuT axis to 'X' Asetetaan laite ensimmäiseen asentoon ja valitaan OK.
- set EuT axis to 'Y'. Käännetään mitattava laite asentoon Y ja valitaan OK.
- set EuT axis to 'Z'. Käännetään mitattava laite asentoon Z ja valitaan OK.
- Generate printer hardcopy Valitaan Yes. Jos valitset No, voit tulostaa raportin File → Print. Alasvetovalikosta valitaan mittauksen\_id\_prtn. Raportin saa rtf-tiedostona valitsemalla Redirect to RTF file.